

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2001192731
PUBLICATION DATE : 17-07-01

APPLICATION DATE : 13-01-00
APPLICATION NUMBER : 2000005074

APPLICANT : SUMITOMO METAL IND LTD;

INVENTOR : HAGITA HEIJI;

INT.CL. : C21D 8/06 C22C 38/00 C22C 38/54

TITLE : METHOD FOR PRODUCING HIGH STRENGTH SHAFT PARTS

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for producing high strength shaft parts excellent in cold workability and induction hardenability even without executing spheroidizing and refining treatment, and in which the hardness of the shaft part is 95 or more by Rockwell B hardness.

SOLUTION: A slab having a chemical composition containing 0.40 to 0.60% C, 0.10 to 0.60% Mn, 0.005 to 0.05% Nb, 0.015 to 0.10% Al, 0.0005 to 0.005% B, 0 to 0.40% Si, 0 to 0.05% Ti, and the balance Fe with impurities, and in which, in the impurities, the content of P is controlled to $\leq 0.015\%$, S to $\leq 0.015\%$, Cu to $\leq 0.10\%$, Ni to $\leq 0.10\%$, Cr to $\leq 0.15\%$, Mo to $\leq 0.10\%$, N to $\leq 0.0050\%$ and O to $\leq 0.005\%$, is heated at 1000 to 1250°C, is hot-rolled so as to control the rolling finishing temperature to 1000 to 800°C, is cooled at a cooling rate of 0.5 to 5°C/sec at least to 500°C after the completion of the hot rolling, is next subjected to wire drawing in such a manner that the total reduction of area is controlled to 25 to 50%, is moreover subjected to cold working to form into a prescribed shape and is subsequently subjected to induction hardening.

COPYRIGHT: (C)2001,JPO

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-192731
(P2001-192731A)

(43) 公開日 平成13年7月17日 (2001.7.17)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
C 2 1 D 8/06		C 2 1 D 8/06	A 4 K 0 3 2
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 A
38/54		38/54	

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-5074 (P2000-5074)

(22) 出願日 平成12年1月13日 (2000.1.13)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 訓谷 法仁

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友

金属工業株式会社小倉製鉄所内

(72) 発明者 萩田 兵治

福岡県北九州市小倉北区許斐町1番地住友

金属工業株式会社小倉製鉄所内

(74) 代理人 100103481

弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高強度軸部品の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 球状化焼鈍と調質処理を施さずとも、冷間加工性と高周波焼入れ性に優れ軸部の硬さがロックウェルB硬さで95以上の高強度軸部品の製造する方法の提供。

【解決手段】 C: 0.40~0.60%、Mn: 0.10~0.60%、Nb: 0.005~0.05%、Al: 0.015~0.10%、B: 0.0005~0.005%、Si: 0~0.40%、Ti: 0~0.05%を含み、残部はFeと不純物からなり、不純物中のP≤0.015%、S≤0.015%、Cu≤0.10%、Ni≤0.10%、Cr≤0.15%、Mo≤0.10%、N≤0.0050、O≤0.005%の化学組成を有する鋼片を、1000~1250℃に加熱して、圧延仕上げ温度が1000~800℃となるように熱間圧延し、熱間圧延終了後は少なくとも500℃までを0.5~5℃/秒の冷却速度で冷却し、次いで、総減面率が25~50%となる伸線加工を施し、更に、冷間加工して所定の形状に成形し、その後高周波焼入れする。

【特許請求の範囲】

【請求項1】質量%で、C:0.40~0.60%、Mn:0.10~0.60%、Nb:0.005~0.005%、Al:0.015~0.10%、B:0.0005~0.005%、Si:0~0.40%、Ti:0~0.05%を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のPは0.015%以下、Sは0.015%以下、Cuは0.10%以下、Niは0.10%以下、Crは0.15%以下、Moは0.10%以下、Nは0.0050%以下、O(酸素)は0.005%以下の化学組成を有する鋼片を、1000~1250℃に加熱して、圧延仕上げ温度が1000~800℃となるように熱間圧延し、熱間圧延終了後は少なくとも500℃までを0.5~5℃/秒の冷却速度で冷却し、次いで、総減面率が25~50%となる伸線加工を施し、更に、冷間加工して所定の形状に成形し、その後高周波焼入れすることを特徴とする高強度軸部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高強度軸部品の製造方法に関し、詳しくは、シャフトなどの小物長尺高強度軸部品の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】機械構造用部品として用いられるシャフトなどの高強度軸部品は、従来、JISの機械構造用中炭素鋼鋼材(S45CやS48Cなど)を熱間圧延後に球状化焼鈍し、次いで、寸法精度を高めるために伸線加工した後冷間鍛造して所定の形状に成形加工し、その後、部品によっては、焼入れ・焼戻しの所謂「調質処理」を行い、更に、高周波焼入れと必要に応じて焼戻しを行うことによって所望の強度、靱性や軸部における表面硬さを確保させている。しかし、この従来法の場合には、熱間圧延後の球状化焼鈍や調質処理のための熱処理コストが高くなる。更に、調質処理時に歪みが発生することが多いので、歪みを矯正する必要も生ずる。このため産業界には、球状化焼鈍や調質処理を省略したり、歪み矯正作業の省略を行って高強度軸部品の製造コストを低減したいとする要望が大きい。

【0003】こうした要望に対して、球状化焼鈍、冷間鍛造後の調質処理及び調質処理後の歪み矯正作業を省略できる技術が、例えば、特開平7-54041号公報に提案されている。

【0004】すなわち、特開平7-54041号公報には、最終鋼部品の延性・靱性を高めるために、鋼のC含有量の上限を0.25重量%に抑え、これに特定の条件で熱間圧延とその後の冷却を施してから冷間引き抜き加工を行い、更に、冷間鍛造と機械加工を施して製造した最終部品に対して、焼入れ・焼戻しの調質処理を施したJIS規格のS45Cと同等の強度を付与する技術が開示されている。しかし、この公報で提案された鋼はC含

有量が低いので、高周波焼入れを施す部品に対しては、所望の表面硬さ及び硬化層の深さを確保できない。

【0005】したがって、高周波焼入れで所望の表面硬さと硬化層の深さを確保させたい場合には、C含有量の高い中炭素鋼鋼材を用いる必要があるが、この場合、熱間圧延後に球状化焼鈍処理を行っても変形抵抗が高いため冷間鍛造の工具寿命が短く、又、変形能が低いので冷間鍛造された部品に割れが生ずる場合もあった。

【0006】このような問題に対し、特公平1-38847号公報及び特公平2-47536号公報には、冷間鍛造性を向上させるためにSiとMnの含有量を低く抑え、C、B、Ti、更に、必要に応じてCrを含有させて高周波焼入れ性の確保もできる冷間鍛造用鋼が開示されている。しかし、上記の各公報で提案された鋼は、その実施例における記載からも明らかなように、従来球状化焼鈍されていた中炭素鋼と同等以上の冷間鍛造性を得るためには、冷間鍛造前に球状化焼鈍を施す必要があるし、最終部品の強度確保のためには調質処理を施す必要もあるので、コストが高くなってしまふ。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、上記現状に鑑みなされたもので、熱間圧延後の球状化焼鈍、焼入れ・焼戻しの調質処理及び調質処理に起因する歪みの矯正作業を省略した高強度軸部品、なかでも軸部の硬さがロックウェルB硬さで95以上の高強度軸部品の製造方法を提供することを目的とする。具体的には、同等のC含有量のJIS機械構造用中炭素鋼を用いて従来法で軸部の硬さがロックウェルB硬さで95以上の高強度軸部品を製造する場合と同等の状況を、熱間圧延後の球状化焼鈍、焼入れ・焼戻しの調質処理及び調質処理に起因する歪みの矯正作業を省略した製造法で確保することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の要旨は、下記に示す高強度軸部品の製造方法にある。

【0009】すなわち、「質量%で、C:0.40~0.60%、Mn:0.10~0.60%、Nb:0.005~0.005%、Al:0.015~0.10%、B:0.0005~0.005%、Si:0~0.40%、Ti:0~0.05%を含有し、残部はFe及び不純物からなり、不純物中のPは0.015%以下、Sは0.015%以下、Cuは0.10%以下、Niは0.10%以下、Crは0.15%以下、Moは0.10%以下、Nは0.0050%以下、O(酸素)は0.005%以下の化学組成を有する鋼片を、1000~1250℃に加熱して、圧延仕上げ温度が1000~800℃となるように熱間圧延し、熱間圧延終了後は少なくとも500℃までを0.5~5℃/秒の冷却速度で冷却し、次いで、総減面率が25~50%となる伸線加工を施し、更に、冷間加工して所定の形状に成形し、その後高

周波焼入れすることを特徴とする高強度軸部品の製造方法。」である。

【0010】なお、本発明でいう「圧延仕上げ温度」とは、圧延が仕上がった際の被圧延材の温度を指す。又、伸線加工における総減面率とは、伸線加工前の断面積を A_0 、最終伸線加工後の断面積を A_1 として $(A_0 - A_1) / A_0$ で表されるものをいい、これを100倍すれば％表示になる。

【0011】本発明者らは、前記した課題を解決するために高強度軸部品の製造方法について、種々の調査・検討を行った。その結果、下記の知見を得た。

【0012】①Mnの含有量を低く抑えとともにSiの含有量をも低く抑え、更に適正量のNb、Alを含んでいる中炭素鋼を冷間鍛造など冷間加工する際の変形抵抗は、熱間圧延のための加熱温度、熱間圧延の仕上げ温度、圧延終了後の冷却条件、その後の伸線加工における総減面率によって変化する。したがって、上記の各種条件を適正に管理すれば、前記の鋼を冷間加工する際の変形抵抗を低くすることができ、球状化焼鈍を省略しても、同等のC含有量のJIS機械構造用中炭素鋼を球状化焼鈍した場合と同等以上の変形能を確保することができる。

②上記①のMnの含有量を低く抑えとともにSiの含有量をも低く抑え、更に適正量のNb、Alを含んでいる中炭素鋼は、伸線加工における総減面率を従来レベルの20％程度より大きくすることで、所望の硬さを確保することが可能である。なお、伸線加工における総減面率を大きくした場合でも、伸線加工前の硬さが低い場合には、伸線加工時に所謂「シェブロンクラック」などの欠陥が発生することはない。

【0013】③中炭素鋼をベースに適正量のBを含有させた鋼の高周波焼入れ性は、同等C量のJIS機械構造用炭素鋼の高周波焼入れ性と同等以上である。本発明は、上記の知見に基づいて完成されたものである。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の各要件について詳しく説明する。なお、各元素の含有量の「％」表示は「質量％」を意味する。

(A) 鋼の化学組成

C: 0.40～0.60％

Cは、高周波焼入れ性に影響を及ぼす元素で、焼入れ硬化層の硬さ及び深さを確保してシャフトなど高強度軸部品に所望の機械的性質を付与するのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.40％未満では添加効果に乏しい。一方、0.60％を超えて含有させると、圧延条件、冷却条件及び伸線加工条件を適正化しても十分に軟化せずに冷間加工性が劣化したり、靱性の劣化や焼割れの発生を招くことがある。したがって、Cの含有量を0.40～0.60％とした。

【0015】Mn: 0.10～0.60％

Mnは、鋼中のSを固定して熱間加工性を高めるとともに強度（硬さ）を確保するために有効な元素で、0.10％以上含有させることが必要である。一方、Mnの含有量が0.60％を超えると、変形抵抗が大きくなって冷間加工性の劣化をきたす。したがって、Mnの含有量を0.10～0.60％とした。なお、Mn含有量は0.10～0.40％とすることが好ましい。

【0016】Nb: 0.005～0.05％

Nbは、冷間加工性を大きく阻害することなく良好な高周波焼入れ性を確保するのに有効な元素である。更に、高周波焼入れ時の結晶粒の粗大化防止にも有効である。しかし、その含有量が0.005％未満では所望の効果が得られない。一方、0.05％を超えると、変形抵抗を増加させることが避けられず、又、粗大な未固溶炭窒化物が残留して冷間加工性の劣化を招くことがある。したがって、Nbの含有量を0.005～0.05％とした。なお、Nb含有量の上限は0.03％とすることが好ましく、0.02％とすれば一層好ましい。更に好ましいNb含有量の上限は0.015％である。

【0017】Al: 0.015～0.10％

Alは、脱酸作用を有する。更に、窒化物を生成して鋼中のNを固定するので、冷間鍛造など冷間加工時の加工硬化を抑制する作用がある。又、鋼中Nの固定によってBの高周波焼入れ性向上効果を確保するのに有効である。しかし、その含有量が0.015％未満では上記の効果が確実には得られない。一方、0.10％を超えて含有させると、冷間加工時に鋼の変形能が低下する。したがって、Alの含有量を0.015～0.10％とした。なお、Bの高周波焼入れ性向上効果の確保のために、Al含有量は0.03％以上とすることが好ましく、0.05％を超えて含有させれば一層好ましい。

【0018】B: 0.0005～0.005％

Bは、冷間加工性を阻害することなく良好な高周波焼入れ性を確保するのに有効な元素である。しかし、その含有量が0.0005％未満では添加効果に乏しい。一方、0.005％を超えて含有させるとその効果が飽和するばかりか、粒界脆化を招く場合がある。したがって、Bの含有量を0.0005～0.005％とした。

【0019】Si: 0～0.40％

Siは添加しなくてもよい。添加すれば、鋼の脱酸の安定化及び強度（硬さ）を高める効果がある。この効果を確実に得るには、Siは0.05％以上の含有量とすることが好ましい。又、Siが添加された鋼は、熱間加工のための加熱中に低融点酸化物であるファイアライト(Fe_2SiO_4)を生成するので、その融点(1173℃)以上に加熱すれば、脱スケール性が極めて良好になる。この効果は、特に、Siの含有量が0.15％を超えた場合に大きい。しかし、その含有量が、0.40％を超えると冷間加工時の変形抵抗が大きくなって冷間加工性の低下を招く。したがって、Siの含有量を0～

0.40%とした。

【0020】Ti: 0~0.05%

Tiは添加しなくてもよい。添加すれば、窒化物や炭窒化物を生成して鋼中のNを固定する効果を有する。この効果を確実に得るには、Tiは0.005%以上の含有量とすることが好ましい。しかし、その含有量が0.05%を超えると、変形抵抗を増加させることが避けられず、又、粗大な窒化物や炭窒化物が残留して冷間加工性の劣化、疲労強度の劣化を招くことがある。したがって、Tiの含有量を0~0.05%とした。なお、Ti含有量の上限は0.03%とすることが好ましく、0.02%とすれば一層好ましい。更に好ましいTi含有量の上限は0.015%である。

【0021】本発明においては、不純物元素としてのP、S、Cu、Ni、Cr、Mo、N及びO(酸素)を下記のとおりに制限する。

【0022】P: 0.015%以下

Pは、冷間加工時の変形能を低下させてしまう。特に、Pの含有量が0.015%を超えると、冷間加工時の変形能の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのPの含有量を0.015%以下とした。

【0023】S: 0.015%以下

Sも冷間加工時の変形能を低下させてしまう。特に、Sの含有量が0.015%を超えると、冷間加工時の変形能の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのSの含有量を0.015%以下とした。

【0024】Cu: 0.10%以下

Cuは変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させてしまう。特に、Cuの含有量が0.10%を超えると、冷間加工性の劣化が著しくなる。したがって、不純物元素としてのCuの含有量を0.10%以下とした。なお、Cu含有量は0.05%以下に規制することが好ましい。

【0025】Ni: 0.10%以下

Niは変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させてしまう。特に、Niの含有量が0.10%を超えると、冷間加工性の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのNi含有量を0.10%以下とした。なお、Ni含有量は0.05%以下に規制することが好ましい。

【0026】Cr: 0.15%以下

Crも変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させてしまう。特に、Crの含有量が0.15%を超えると、冷間加工性の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのCr含有量を0.15%以下とした。なお、Cr含有量は0.10%以下に規制することが好ましい。

【0027】Mo: 0.10%以下

Moは変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させてしまう。特に、Moの含有量が0.10%を超えると、冷間加工性の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのMo含有量を0.10%以下とした。なお、Mo含有量は0.05%以下に規制することが好ましい。

【0028】N: 0.0050%以下

Nは、変形抵抗を高めて冷間加工性を劣化させてしまう。更に、容易にBと結びついてBNを形成するので、Bの高周波焼入れ性向上効果が確保できなくなる。特に、Nの含有量が0.0050%を超えると、冷間加工性の低下が著しくなるとともにBの高周波焼入れ性向上効果が得難くなる。したがって、不純物元素としてのN含有量を0.0050%以下とした。なお、N含有量は0.0040%以下に規制することが好ましく、0.0030%以下とすれば一層好ましい。

【0029】O(酸素): 0.005%以下

Oは、酸化物を形成して冷間加工時の変形能を低下させてしまう。特に、Oの含有量が0.005%を超えると、冷間加工時の変形能の低下が著しくなる。したがって、不純物元素としてのOの含有量を0.005%以下とした。

(B) 熱間圧延と冷却

(B-1) 熱間圧延前の加熱温度

冷間鍛造など冷間加工する際の変形抵抗を下げるとともに、均質な組織を得るためには、加熱温度は1000℃以上にする必要がある。しかし、加熱温度が1250℃を超えると燃料コストが高む。更に、スケール発生も多くなって歩留りの低下が生じ、生産効率が低下する。したがって上記(A)に記載した化学組成を有する鋼片の熱間圧延前の加熱温度を1000~1250℃とした。

【0030】(B-2) 圧延仕上げ温度

冷間鍛造など冷間加工する際の変形抵抗を下げるとともに、鋼材に良好な延性と靱性を確保させ、更に良好な伸線加工性を付与するためには、熱間圧延仕上げ温度を1000~800℃にする必要がある。圧延仕上げ温度が1000℃を超えると、再結晶オーステナイト結晶粒が粗大となり、その後の冷却条件を制御しても微細なフェライト・パーライト組織になり難く、伸線加工時に断線が発生する場合があるし、冷間鍛造など冷間加工時の変形抵抗も大きくなってしまふ。一方、圧延仕上げ温度が800℃を下回ると、延性と靱性の低下が大きくなるし、冷間鍛造など冷間加工時の変形抵抗も大きくなってしまふ。したがって、熱間圧延仕上げ温度を1000~800℃とした。

【0031】(B-3) 圧延後の冷却条件

冷間鍛造など冷間加工する際の変形抵抗を下げるためには、熱間圧延終了後、少なくとも500℃までを0.5~5℃/秒の冷却速度で冷却する必要がある。

【0032】これは、圧延仕上げ後、上記の条件で冷却することによって、微細なフェライト・パーライト組織が得られ、伸線加工性が高まるとともに冷間加工する際の変形抵抗が下がるためである。冷却速度が0.5℃/秒を下回ると、微細なフェライト、パーライト組織が得難く、伸線加工時に断線が発生する場合があるし、冷間鍛造など冷間加工時の変形抵抗も大きくなってしまふ。

更に、脱炭深さや生成するスケールの厚みも大きくなってしまふ。一方、冷却速度が $5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ を超えると、マルテンサイトやベイナイトといった低温変態生成物が生成するので、強度が上昇し、冷間加工する際の変形抵抗が大きくなる。熱間圧延終了後、 $0.5\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ の冷却速度で行う冷却の停止温度が 500°C を超える場合には、微細なフェライト、パーライト組織が得難く、伸線加工時に断線が発生する場合があるし、冷間鍛造など冷間加工時の変形抵抗も大きくなってしまふ。

【0033】したがって、熱間圧延した後、少なくとも 500°C までを $0.5\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ の冷却速度で冷却することとした。上記の $0.5\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ の冷却速度での冷却は常温まで行ってもよい。但し、生産性を高めるためには、 500°C まで、望ましくは 450°C までを $0.5\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ の冷却速度で冷却し、以後は急冷するのがよい。

(C) 伸線加工

前記(A)項に記載の化学組成を有する鋼片に上記

(B)項に記載の熱間圧延と冷却を行っただけでは強度(硬さ)が低い。このため、焼入れ・焼戻しの調質処理を省略すると、従来調質処理が施されていた高強度軸部品、なかでも軸部の硬さがロックウェルB硬さで95以上の高強度軸部品として用いることはできない。したがって、本発明においては、前記(A)項に記載の化学組成を有する鋼片に上記(B)項に記載の熱間圧延と冷却を行い、次いで、総減面率が25~50%となる伸線加工を施して、所望のロックウェルB硬さで95以上の軸部硬さを確保させる。

【0034】伸線加工の総減面率が25%を下回る場合には、伸線加工後の強度上昇は不十分で、所望のロックウェルB硬さで95以上の硬さが得られない場合がある。一方、伸線加工の総減面率が50%を超える場合には、被加工材の内部にクラックが生成することがある。したがって、総減面率が25~50%となる伸線加工を施すこととした。この伸線加工の総減面率が35%を超える場合には、ロックウェルB硬さで95以上の硬さが極めて安定して得られる。なお、伸線加工における総減面率とは、伸線加工前の断面積を A_0 、最終伸線加工後の断面積を A_1 として $(A_0 - A_1) / A_0$ で表されるものをいい、これを100倍すれば%表示になることは既に述べたとおりである。この「伸線加工」は、通常行わ

れるように冷間で行うのがよい。なお、 500°C 未満の温度であれば温間で行ってもよいが。温間で伸線加工する場合は、潤滑性能の面から 200°C 以下の温度で行うことが好ましい。

(D) 冷間加工

(B)項に記載の熱間圧延と冷却を施され、次いで、

(C)項に記載の伸線加工をうけた前記(A)項に記載の化学組成を有する鋼材は、更に冷間鍛造などの冷間加工を受けてシャフトなど所定の形状の高強度軸部品に成形される。本発明の場合、総減面率が25~50%の伸線加工を施すため、伸線加工後の硬さは高いものの、圧縮加工での変形抵抗、変形能は伸線加工前の素材と同程度である。このため、冷間加工の方法は特に規定されるものではなく、通常の方法で行えばよい。

(E) 高周波焼入れ

前記(A)に記載の化学組成を有し、熱間圧延、冷却、伸線加工を受け、冷間加工されて所定の形状に成形された鋼材は、その部品の仕様に応じて全面、もしくは局部的に高周波焼入れ、あるいは、必要に応じて高周波焼入れ後に焼戻しが施されて、所望の機械的性質を有する機械構造用部品に仕上げられる。この高周波焼入れの方法は特に規定されるものではなく、通常の方法で行えばよい。

【0035】本発明の製造方法が対象とする(A)項に記載の化学組成を有する鋼材を通常の方法で高周波焼入れすれば、JIS機械構造用炭素鋼を高周波焼入れしていた従来の製造方法による場合と同等の硬化深さが得られる。

【0036】以下、実施例により本発明を説明する。

【0037】

【実施例】(実施例1)表1、表2に示す化学組成を有する鋼を通常の方法によって試験炉を用いて溶製した。表1における鋼A~Iは化学組成が本発明で規定する範囲内にある本発明例、表2における鋼a~rは成分のいずれかが本発明で規定する含有量の範囲から外れた比較例である。比較例の鋼のうち鋼p、鋼q及び鋼rはそれぞれJIS規格のS40C、S50C及びS58Cに相当する鋼である。

【0038】

【表1】

表 1

区分	鋼	化 学 組 成 (質量%)										残部: Fe および不純物				
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	B	Al	Nb	Ti	N	O
本 発 明 例	A	0.42	0.24	0.11	0.011	0.010	0.01	0.02	0.02	0.01	0.0017	0.070	0.036	0.037	0.0048	0.0027
	B	0.41	0.12	0.55	0.009	0.007	0.02	0.02	0.04	0.02	0.0009	0.052	0.033	0.021	0.0037	0.0010
	C	0.55	0.08	0.12	0.012	0.013	0.01	0.03	0.06	0.02	0.0020	0.064	0.027	0.027	0.0043	0.0013
	D	0.42	0.10	0.27	0.011	0.014	0.01	0.05	0.11	0.01	0.0021	0.073	0.041	0.041	0.0027	0.0011
	E	0.50	0.11	0.14	0.010	0.014	0.01	0.01	0.12	0.02	0.0015	0.058	0.039	0.029	0.0042	0.0018
	F	0.47	0.04	0.24	0.013	0.012	0.01	0.02	0.12	0.01	0.0021	0.065	0.029	0.039	0.0040	0.0014
	G	0.45	0.10	0.11	0.008	0.011	0.01	0.01	0.12	0.01	0.0015	0.052	0.042	0.027	0.0042	0.0022
	H	0.41	0.28	0.33	0.010	0.011	0.01	0.01	0.15	0.01	0.0022	0.075	0.040	0.015	0.0040	0.0020
	I	0.42	0.17	0.15	0.011	0.012	0.01	0.02	0.12	0.02	0.0015	0.058	0.027	0.037	0.0043	0.0015

【0039】

【表2】

表 2

区分	鋼	化 学 組 成 (質量%)										残部: Fe および不純物				
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	B	Al	Nb	Ti	N	O
比 較 例	a	*0.64	0.28	0.38	0.012	0.012	0.01	0.01	0.05	0.01	0.0012	0.055	0.032	0.025	0.0035	0.0021
	b	0.47	*0.54	0.52	0.012	0.012	0.01	0.02	0.06	0.01	0.0013	0.060	0.031	0.021	0.0028	0.0015
	c	0.51	0.28	*0.96	0.011	0.014	0.01	0.01	0.11	0.03	0.0017	0.055	0.036	0.031	0.0034	0.0014
	d	0.56	0.17	0.41	*0.031	0.010	0.01	0.02	0.12	0.01	0.0015	0.058	0.021	0.041	0.0035	0.0020
	e	0.47	0.28	0.18	0.012	*0.081	0.01	0.01	0.07	0.01	0.0011	0.061	0.025	0.019	0.0028	0.0018
	f	0.52	0.08	0.56	0.012	0.012	*0.15	0.10	0.09	0.01	0.0022	0.082	0.032	0.035	0.0047	0.0014
	g	0.56	0.12	0.31	0.011	0.013	0.01	*0.17	0.05	0.02	0.0021	0.055	0.011	0.032	0.0071	0.0022
	h	0.43	0.08	0.22	0.012	0.012	0.01	0.02	*0.38	0.01	0.0018	0.082	0.019	0.020	0.0027	0.0014
	i	0.43	0.35	0.15	0.010	0.010	0.01	0.02	0.09	*0.19	0.0015	0.062	0.035	0.040	0.0041	0.0012
	j	0.42	0.05	0.33	0.014	0.013	0.01	0.01	0.13	0.02	*	0.058	0.026	0.025	0.0049	0.0010
	k	0.41	0.28	0.33	0.011	0.013	0.01	0.04	0.12	0.01	0.0018	*0.122	0.022	0.004	0.0045	0.0022
	l	0.46	0.29	0.22	0.010	0.010	0.02	0.02	0.06	0.02	0.0015	0.054	*0.070	0.019	0.0042	0.0013
	m	0.55	0.04	0.48	0.014	0.014	0.01	0.02	0.07	0.01	0.0023	0.058	0.046	*0.068	0.0037	0.0011
	n	0.40	0.31	0.31	0.014	0.014	0.01	0.03	0.10	0.03	0.0017	0.019	0.045	0.009	*0.0058	0.0018
	o	0.46	0.29	0.22	0.011	0.012	0.01	0.02	0.06	0.02	0.0015	0.064	0.028	0.033	0.0042	*0.0064
	p	0.40	0.31	*0.76	*0.022	*0.018	0.02	0.02	0.08	0.01	*	0.052	*	-	*0.0053	0.0022
	q	0.50	0.28	*0.80	*0.020	*0.020	0.01	0.02	0.07	0.01	*	0.056	*	-	*0.0063	0.0025
	r	0.58	0.35	*0.74	*0.017	*0.016	0.01	0.02	0.12	0.01	*	0.069	*	-	*0.0060	*0.0060

*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。

【0040】次いで、これらの鋼を通常の方法によって鋼片にした後、1200℃に加熱して直径18mmの丸棒に熱間圧延し、熱間圧延終了後は各種の条件で冷却した。冷却後、通常の方法で総減面率が27%と48%の伸線加工も行った。

【0041】上記のようにして得られた直径18mmの圧延ままの丸棒、及び伸線加工した丸棒から、直径が10mmで長さが15mmの冷間加工用試験片を作製し、500t高速プレス機による通常の方法で冷間(室温)拘束型据え込み試験を行い、割れが発生する限界の据え込み率を測定した。なお、据え込み率が75%まで、各条件ごとに5回の据え込み試験を行い、5個の試験片のうち3個以上に割れが発生する最小の加工率(据え込み率)を限界据え込み率として評価した。据え込み率75%で3個以上割れを生じないものは、そこで試験を終了

した。

【0042】上記の直径が10mmで長さが15mmの冷間加工用試験片を用いてロックウェルB硬さの測定も行った。

【0043】更に、すべての鋼種の限界据え込み率以下である60%の据え込み率(最も大きな加工が加わる試験片中心部における相当歪は1.5)の場合の変形抵抗を測定した。なお、相当歪みとは ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 を主方向の対数歪みとして下記の式で表されるものである。

$$\epsilon = \{ (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2) \times 2 / 3 \}^{1/2}$$

表3～5に、圧延仕上げ温度、圧延終了後の冷却条件の詳細を示す。この表3～5には上記の各試験結果も併せて示した。

【0044】

【表3】

表 3

区分	鋼	熱間圧延及び冷却			伸線加工の総減面率 (%)	ロックウェルB硬さ	据え込み試験	
		圧延仕上げ温度 (°C)	圧延後の冷却速度 (°C/秒)	冷却を停止した温度 (°C)			変形抵抗 (MPa)	限界据え込み率 (%)
比	A	850	1.0	450	* 0	** 77	732	≥75
本					27	96	732	≥75
本					48	98	732	≥75
比	B	850	1.0	450	* 0	** 81	776	≥75
本					27	102	771	≥75
本					48	104	775	≥75
比	C	850	1.0	450	* 0	** 84	780	≥75
本					27	103	785	≥75
本					48	105	780	≥75
比	D	850	1.0	450	* 0	** 80	766	≥75
本					27	99	766	≥75
本					48	101	764	≥75
比	E	850	1.0	450	* 0	** 84	779	≥75
本					27	103	777	≥75
本					48	105	777	≥75
比	F	850	0.8	450	* 0	** 83	811	≥75
本					27	102	811	≥75
本					48	104	813	≥75
比	G	850	0.8	450	* 0	** 80	766	≥75
本					27	99	769	≥75
本					48	101	766	≥75
比	H	800	4.0	450	* 0	** 82	787	≥75
本					27	101	787	≥75
本					48	103	789	≥75
比	I	930	4.0	450	* 0	** 79	724	≥75
本					27	98	722	≥75
本					48	100	728	≥75

区分欄の「本」は本発明例、「比」は比較例であることを示す。
 *印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。
 **印は目標に未達であることを示す。
 冷却停止後は大気中での自然冷却（放冷）とした。

【0045】

【表4】

表 4

区 分	鋼	熱間圧延及び冷却			伸線加工の総 減面率 (%)	ロック ウェル B 硬さ	据え込み試験	
		圧延仕上 げ温度 (℃)	圧延後の 冷却速度 (℃/秒)	冷却を停止 した温度 (℃)			変形抵抗 (MPa)	限界据え 込み率 (%)
比 較 例	*a	850	1.0	450	* 0 27 48	97 117	951 954	60 60
						伸線加工時に断線		
	*b	850	1.0	450	* 0 27 48	90 109	866 868	65 65
						伸線加工時に断線		
	*c	850	1.0	450	* 0 27 48	97 117	851 855	60 60
						伸線加工時に断線		
	*d	850	1.0	450	* 0 27 48	93 112	899 895	63 63
						伸線加工時に断線		
	*e	850	1.0	450	* 0 27 48	** 83 102	796 791	60 60
					伸線加工時に断線			
	*f	850	1.0	450	* 0 27 48	** 91 110	880 882	65 65
					伸線加工時に断線			
	*g	850	1.0	450	* 0 27 48	94 113	868 864	63 63
					伸線加工時に断線			
	*h	850	1.0	450	* 0 27 48	90 109	793 794	65 65
					伸線加工時に断線			
	*i	850	1.0	450	* 0 27 48	** 87 106	770 777	70 70
					伸線加工時に断線			
*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。								
**印は目標に未達であることを示す。								
冷却停止後は大気中での自然冷却（放冷）とした。								

【0046】

【表5】

表 5

区 分	熱間圧延及び冷却			伸線加 工の総 減面率 (%)	ロック ウェル B硬さ	据え込み試験		
	圧延仕上 げ温度 (℃)	圧延後の 冷却速度 (℃/秒)	冷却を停止 した温度 (℃)			変形抵抗 (MPa)	限界据え 込み率 (%)	
比 較 例	*j	850	1.0	450	* 0 27 48	** 81 100 102	774 772 775	≥75 ≥75 ≥75
	*k	850	1.0	450	* 0 27 48	** 82 101	782 782	65 65
						伸線加工時に断線		
	*l	850	1.0	450	* 0 27 48	** 83 102	794 794	65 65
						伸線加工時に断線		
	*m	850	1.0	450	* 0 27 48	91 110	884 889	65 65
						伸線加工時に断線		
	*n	850	1.0	450	* 0 27 48	** 82 101	788 792	65 65
						伸線加工時に断線		
	*o	850	1.0	450	* 0 27 48	** 88 107	846 846	70 70
						伸線加工時に断線		
	*p	850	1.0	450	* 0 27 48	** 88 107	806 805	60 60
						伸線加工時に断線		
	*q	850	1.0	450	* 0 27 48	95 114	818 819	58 58
						伸線加工時に断線		
	*r	850	1.0	450	* 0 27 48	100 119	831 828	55 55
					伸線加工時に断線			

*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。
**印は目標に未達であることを示す。
冷却停止後は大気中での自然冷却(放冷)とした。

【0047】更に、前記の直径18mmの圧延材から直径が17.5mmで長さ50mmの試験片を採取し、これに周波数20kHzで高周波焼入れを行った後、通常の方法によって表面硬さとHvで400となる硬化深さ(つまり、焼入れ硬化層の深さ)を測定した。次いで、電気炉を用いて150℃で30分の焼戻しを行い、通常の方法によって高周波焼入れ後の硬化部を測定した。

【0048】表6に上記の試験結果を示す。

【0049】

【表6】

表 6

区 分	鋼	高周波焼入れ性	
		表面硬さ (Hv)	硬化深さ t (mm)
本 発 明 例	A	639	6.2
	B	611	5.9
	C	744	6.3
	D	639	7.0
	E	707	6.2
	F	683	6.3
	G	715	6.6
	H	629	7.0
	I	639	6.9
比 較 例	*a	799	5.8
	*b	683	6.7
	*c	715	7.2
	*d	751	6.5
	*e	683	6.0
	*f	722	3.9
	*g	751	3.0
	*h	648	6.2
	*i	643	3.3
	*j	639	2.2
	*k	744	6.6
	*l	625	7.6
	*m	622	6.6
	*n	707	6.8
	*o	674	6.3
	*p	620	5.9
	*q	708	5.6
	*r	765	5.5

*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。

【0050】表3及び表6から、化学組成が本発明で規定する範囲内にある本発明例の鋼A～Iを素材鋼とする場合は、圧延のまま、つまり伸線加工の総減面率0%の状態、硬さと圧縮加工（据え込み加工）での変形抵抗が低く、75%以上の大きな限界据え込み率を有していることがわかる。又、上記の圧延ままの丸棒を総減面率25%又は48%で伸線加工を行っても、圧縮加工での変形抵抗と限界据え込み率は圧延ままの場合と同程度であり、硬さのみ上昇して、ロックウェルB硬さで95以上の硬さを確保できることが明らかである。更に、同等のC含有量のJIS機械構造用炭素鋼（JIS規格のS40C、S50C及びS58C）に相当する鋼p、鋼q及び鋼rを素材鋼とする場合と同等の高周波焼入れ性を有している。

【0051】これに対して比較例の鋼を素材鋼とする場合には、表4～6から、（イ）圧延のままの状態硬さと変形抵抗が高く、限界据え込み率も低いので、総減面率が25%の伸線加工を施すと、変形抵抗は高いままで、限界据え込み率も低いままである。更に、総減面率が48%の伸線加工を施すと断線が発生する。（ロ）高

周波焼入れした時の硬化深さtが、同等のC含有量のJIS機械構造用炭素鋼（JIS規格のS40C、S50C及びS58C）に相当する鋼p、鋼q及び鋼rを素材鋼とする場合以下である、のいずれかに該当する。

（実施例2）実施例1で得た鋼D及び鋼Fの総減面率27%で伸線加工した丸棒と、鋼p～rの直径18mmの圧延ままの丸棒を用いて、実部品の製造を想定した試験を行い、最終形状における曲がり量の測定を実施した。

【0052】すなわち、鋼D及び鋼Fの総減面率27%で伸線加工した丸棒については、伸線加工したままの状態、通常の方法によって冷間加工としての前方押し出し加工を行い、直径15.4mmで長さが120mmの軸形状にし、その後ダイヤルゲージで曲がり量を測定した。比較例として、鋼p～rの直径18mmの圧延ままの丸棒には、745℃で4時間保持した後、毎時15℃の冷却速度で冷却する球状化焼鈍を施し、次いで、通常の方法で総減面率が27%の伸線加工を行い、更に、冷間加工としての前方押し出し加工を行って上記と同じ直径15.4mmで長さが120mmの軸形状にし、この後、860℃に加熱してから油焼入れし、更に200℃で焼戻しを行ってからダイヤルゲージで曲がり量を測定した。なお上記の製造方法は、JISの機械構造用中炭素鋼鋼材を素材とした高強度軸部品の従来の製造法である。表7に、上記の試験結果を示す。

【0053】

【表7】

表 7

区 分	鋼	100mm当たりの 曲がり量 (mm)
本 本	D	0.012
	F	0.015
比 較 例	*p	1.525
	*q	2.112
	*r	1.136

区分欄の「本」は本発明例であることを示す。
*印は本発明で規定する条件から外れていることを示す。

【0054】表7から、JIS規格のS40C、S50C及びS58Cに相当する鋼である鋼p、鋼q及び鋼rを用いて、比較例の方法によって製造した場合、つまり、従来の調質処理によって製造した場合には曲がり量が大いなのに対して、本発明の方法によれば、最終部品の曲がり量は小さく、したがって、歪みの矯正作業を省略して高強度軸部品の製造できることが明らかである。

【0055】

【発明の効果】本発明の方法によれば、同等のC含有量のJIS機械構造用炭素鋼を用いて従来法で軸部の硬さがロックウェルB硬さで95以上の高強度軸部品の製造する場合と同等の状況を、熱間圧延後の球状化焼鈍、焼入れ・焼戻しの調質処理及び調質処理に起因する歪みの

矯正作業を省略した製造法で確保することができ、実用 価値はきわめて大きい。

フロントページの続き

F ターム(参考) 4K032 AA01 AA02 AA05 AA06 AA11
AA14 AA16 AA19 AA21 AA22
AA23 AA26 AA27 AA29 AA31
AA35 BA02 CA02 CA03 CC03
CC04 CD01 CD02 CG01

THIS PAGE BLANK (USPTO)